



# Universo de sistemas complejos

DIÓGENES CAMPOS ROMERO

A partir de la visión pionera y futurista que tuvieron sus fundadores, en 1954, la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano se ha convertido en un importante referente en los temas de ciencias del mar. El punto de partida fue la fundación de la Facultad de Ciencias del Mar, en 1962, que comenzó con la enseñanza de la biología marina y la oceanografía, y evolucionó hacia el actual Programa Académico de Biología Marina, que cuenta con una combinación única y funcional de estudios, dividida en dos etapas, que se desarrollan en Bogotá y Santa Marta. En la capital del país la Universidad cuenta con el Museo del Mar<sup>3</sup>; y en la capital del departamento del Magdalena con Mundo Marino<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> <http://www.utadeo.edu.co/dependencias/museo/>

<sup>4</sup> [http://caribe.utadeo.edu.co/santamarta/mundo\\_marino/](http://caribe.utadeo.edu.co/santamarta/mundo_marino/)



Museo del Mar, Universidad Jorge Tadeo Lozano  
Fotografía: Rafael Mora

Ambos lugares ofrecen al público en general esparcimiento, además de facilitar la divulgación de temas científicos marinos y otras actividades de investigación.

En las casi cinco décadas de existencia del Programa de Biología Marina, los aportes en esta área del conocimiento y de investigación le han permitido a la Universidad la creación de una Maestría en Ciencias Marinas, en el año 2008, y de un programa interinstitucional<sup>5</sup> de Doctorado en Ciencias

**5** En el Programa interinstitucional de Doctorado en Ciencias del Mar, con Resolución 4773 de 2010, del Ministerio de Educación Nacional, participan las universidades Nacional de Colombia, de Antioquia, del Magdalena, del Valle, del Norte y la de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, así como el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, invemar, y la Comisión Colombiana del Océano, cco. El Doctorado también cuenta con el apoyo del Centro de Excelencia en Ciencias Marinas, cemarín, que es uno de los centros de excelencia del Servicio Alemán de Intercambio (daad, por sus siglas en alemán), con la participación de la Universidad Justus Liebig, de Giessen, Alemania. Consulte <http://www.cemarin.org/partnerinstitutions>

del Mar, a partir de 2009 y cuya puesta en marcha será en el año 2011. Ambos posgrados se desarrollan en la ciudad de Santa Marta.

En la formulación del Programa de Doctorado se menciona la “necesidad del pensamiento complejo en ciencias del mar”, algo que puede explicarse con varias razones:

En las casi cinco  
décadas de  
existencia del  
Programa de Biología  
Marina, sus aportes  
le han permitido  
a la Universidad  
la creación de  
una Maestría en  
Ciencias Marinas  
y de un programa  
interinstitucional  
de Doctorado en  
Ciencias del Mar  
cuya puesta en  
marcha será en el  
año 2011.

**Extensión territorial.** Colombia es un país con un extenso territorio continental y marítimo: 1.141.748 km<sup>2</sup> y 928.660 km<sup>2</sup>, respectivamente. Cuenta con costas de 1.642 km en el Atlántico, y 1.376 km en el Pacífico, también es uno de los países megadiversos que hay en el mundo, con un número importante de especies endémicas, así como múltiples ecosistemas terrestres y marinos.

**Biodiversidad.** Nuestro país se caracteriza por su alta diversidad biológica, lo que implica el reto de “entender” la variedad de interacciones e interdependencias que existen entre las especies y el medio ambiente marino. Existe biodiversidad genética, biodiversidad de especies y diversidad de ecosistemas. Algunos autores opinan que una considerable proporción de la diversidad genética se encuentra en organismos oceánicos de aguas profundas<sup>6</sup>.

**Impacto ambiental.** La contaminación del ambiente marino –por medio de químicos, desechos y ruido, entre otros– tiene impacto sobre las especies y, al ser algunas más vulnerable que otras, se incrementa el riesgo de

6 J. S. Gray, *Biodiversity and Conservation* 6, 153, 1997. Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs.



extinción. En piscicultura, la administración de cantidades altas de antibióticos, por razones profilácticas o terapéuticas, puede conducir a la selección de bacterias resistentes a los antibióticos. Es decir, existe un riesgo potencial de contaminación del ambiente marino por antibióticos<sup>7</sup>. Las descargas de aguas negras en las zonas costeras son otra fuente de contaminación microbiana del ambiente marino, mientras los virus presentes en el material fecal originan una variedad de enfermedades en los humanos y en otras especies, bien sea por exposición directa o por el consumo de alimentos contaminados.

**Impacto antropogénico.** La polución, las prácticas de pesca, la acuicultura de especies exóticas, los sedimentos, las obras de ingeniería costeras, el turismo y el calentamiento global, afectan los ecosistemas

---

<sup>7</sup> B. Nogales, M. P. Lanfrancini, J. M. Piña-Villalonga, R. Bosch, *FEMS Microbiology Reviews* (2010). Anthropogenic Perturbations in Marine Microbial Communities.





Arriba: [taringa.net/posts/ecologia](http://taringa.net/posts/ecologia)  
Izquierda: [farmbiocontrol.blogspot.com](http://farmbiocontrol.blogspot.com)

marinos y ponen en riesgo la biodiversidad. La temperatura regula los procesos metabólicos e influye en la ecología y la fisiología de los peces, así como en su eficacia reproductiva. Esta es una de las razones por las que el cambio climático tiene consecuencias en el tamaño de las poblaciones y en la ecología de las especies que interactúan<sup>8</sup>. A propósito, los ecosistemas se definen como el conjunto de interacciones entre organismos, y también entre organismos y su medio ambiente. Una perturbación en una de las partes puede generar una cascada de efectos a través del sistema<sup>9</sup>.

**Cambios en los océanos.** Desde la época preindustrial, los océanos han experimentado cambios importantes en sus propiedades químicas, como consecuencia de la captura de dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, liberado a

---

<sup>8</sup> C. T. Graham, C. Harrod, *Journal of Fish Biology* 74, 1143, 2009. Implications of Climate Change for the Fishes of the British Isles.

<sup>9</sup> National Research Council of the National Academies, *Ocean Acidification: A National Strategy to Meet the Challenges of a Changing Ocean*, 2010.



La naturaleza marina,  
epicentro de la historia de la Tierra.  
(sertv.gob.pa/) (duiops.net)

la atmósfera a través del uso de combustibles fósiles por parte de las sociedades. Se calcula que la tercera parte de todas las emisiones antropogénicas de los últimos doscientos años han sido absorbidas por los océanos<sup>10</sup>. Esto modera las tasas de cambio climático, pero causa cambios en la química de los océanos: el pH del agua marina ha disminuido de manera progresiva y los océanos se han acidificado. De esta manera, el calentamiento y la acidificación de los océanos generan, por ejemplo, daños en los ecosistemas de los arrecifes coralinos, con efectos socioeconómicos significativos<sup>11</sup>. El calentamiento de la superficie del océano tiene un impacto importante sobre la biota marina y sobre el ciclo del carbono, que incluye la cantidad de carbono transportado a las profundidades marinas.

**Especies invasoras.** La presencia de especies invasoras en un entorno dado implica una modificación del medio ambiente de las comunidades ecológicas naturales. Si estas no se perturbaran por parte de las especies invasoras o por los humanos, las especies dentro de la comunidad ecológica se organizarían

por un proceso de regulación biótica y por la interacción con el medio ambiente. La presencia de especies invasoras constituye, entonces, una amenaza a la biodiversidad, pues altera los procesos de los ecosistemas, disminuye la abundancia de las especies nativas, cambia la estructura de las comunidades y altera la diversidad genética<sup>12</sup>. Un ejemplo claro que se haya conocido recientemente, es el caso del pez león, esta especie originaria del Pacífico Oeste y de Oceanía, es altamente venenosa

<sup>10</sup> U. Riebesell, A. Körtzinger, A. Oschlies, PNAS 106, 20602. Sensitivities of Marine Carbon Fluxes to Ocean Change.

<sup>11</sup> Ver comentarios adicionales en: J. F. Isaza, D. Campos, *Cambio climático. Glaciaciones y calentamiento global*. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 2007.

<sup>12</sup> M. A. McGeoch, S. H. M. Buchart, D. Spear, E. Marais, E. J. Kleynhans, A. Symes, J. Chanso, M. Hoffmann, *Diversity and Distributions* 16, 95 (2010). Global Indicators of Biological Invasion: Species Numbers, Biodiversity Impact and Policy Responses.



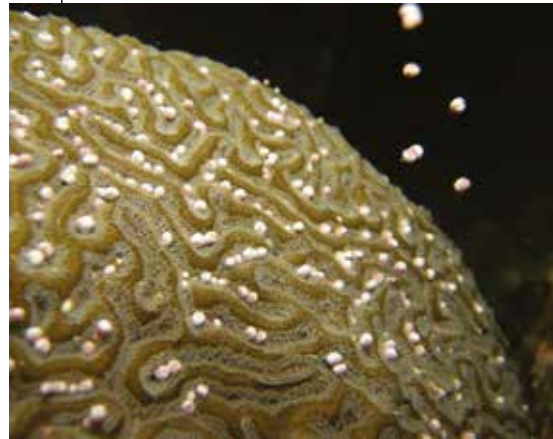
y, en este momento, tiene presencia en el Caribe colombiano, constituyendo un peligro para el turismo y para las especies marinas nativas, según un comunicado del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Al respecto, la citación de un par de transcripciones resultan pertinentes para ilustrar la amenaza que se cierne sobre los ecosistemas marinos<sup>13</sup>:

... Hay registros de que un solo ejemplar devoró el 80 por ciento de los peces jóvenes del ecosistema arrecifal en Bahamas. Buzos han contado cerca de treinta peces león sólo en San Andrés” y “Una de las primeras apariciones del pez León en el Caribe colombiano se registró en marzo del año 2009, cuando un grupo de biólogos y estudiantes de Biología Marina de la Universidad Jorge Tadeo Lozano prendieron las alarmas sobre el supuesto avistamiento de un ejemplar en el sitio de buceo conocido como Punta Granate, en área del Parque Natural Tayrona, en Santa Marta”.

**Impactos socioeconómicos.** Los ecosistemas marinos son el fundamento de un amplio conjunto de bienes y servicios para la sociedad humana, entre otros la alimentación, los productos naturales, el desarrollo de productos farmacéuticos y los servicios turísticos. La acidificación de los océanos, la presencia de especies invasoras y las diferentes formas de contaminación del ambiente marino, son elementos que tienen implicaciones en esta serie de bienes y servicios que ofrece a la sociedad el entorno marino, en especial el costero.

**Modelamiento de sistemas.** La complejidad de los sistemas marinos y la unión de un número importante de grupos de investigación e investigadores, es una oportunidad para estructurar el conocimiento biológico del país, de integrar la información, de modelar los diversos ecosistemas y de consolidar la capacidad nacional para el modelado matemático y para la simulación computacional de sistemas biológicos y problemas de ciencia

(<http://tagangadives.blogspot.com>)  
(<http://mexico-reef.net23.net>)



<sup>13</sup> El “temible pez león” llegó a Colombia el 16 de febrero de 2010. Ver: <http://www.catorce6.com/2166/temible-pez-leon-llego-a-colombia/>





Los delfines, símbolo de la majestuosidad de las especies marinas. (<http://bromero161162.blogspot.com>)

e ingeniería. En la predicción de los impactos del cambio climático sobre las comunidades ecológicas y la capacidad para la adaptación biológica, por ejemplo, se requiere una combinación de datos observables y de análisis de ellos, recurriendo a un modelamiento apropiado. De la colección de datos observables y experimentales, se debe avanzar hacia la generación de conocimiento, empresa en la cual la ciencia teórica y el modelamiento desempeñan un papel central.

**Biocomplejidad.** Este término se utiliza para describir las estructuras complejas, las interacciones y las dinámicas de un conjunto diverso de sistemas ecológicos y biológicos que operan en múltiples escalas temporales y espaciales<sup>14</sup>. A Colombia, como país con alto grado de diversidad biológica, le corresponde

fortalecer la formación de recurso humano en estas áreas, las cuales tendrán un importante impacto en el futuro, pues se dice que el siglo XXI será el siglo de la biología.

Existe abundante información e importantes estudios relacionados con las Ciencias del Mar. Sin embargo, contar con datos e información aislada no resulta suficiente para entender los sistemas complejos presentes en los océanos: un gran número de organismos relativamente simples se organizan como un “todo” colectivo, con patrones de comportamiento y estructuras que incrementan sus probabilidades de supervivencia, en el marco de un ambiente marino natural o alterado por influencias externas (cambio climático, humanos, especies invasoras y contaminación, entre otras).

En conclusión, el Programa de Doctorado en Ciencias del Mar es un “doctorado en red” entre diferentes instituciones públicas y privadas. Reúne talento colombiano destinado a investigar y a generar propuestas que le aporten al país en conocimiento y en consolidación de ventajas competitivas. El reto, es el de mantener la sinergia entre las instituciones, los grupos, los profesores y los estudiantes, en un proyecto que es de alta complejidad, pues estudia sistemas complejos y, a partir de dicha filosofía,

<sup>14</sup> (a) J. P. Bolte, D. W. Hulse, S. V. Gregory, C. Smith, *Environmental Modelling & Software* 22, 570 (2006). Modeling Biocomplexity-Actors, Landscapes and Alternative Futures. (b) W. K. Michener, T. J. Baerwald, P. Firth, M. A. Palmer, J. L. Rosenberger, E. A. Sandlin, H. Zimmerman, *BioScience* 51, 1018 (2001). Defining and Unraveling Biocomplexity.

los resultados que genere tendrán implicaciones importantes para Colombia. El propósito del Programa de Doctorado en Ciencias del Mar consiste en unir fortalezas; compartir propósitos, acciones, conocimiento e infraestructura; e incrementar las relaciones locales, nacionales e internacionales. El programa de Doctorado en Ciencias del Mar se organiza en cuatro áreas temáticas<sup>15</sup>: Ambiental, Aprovechamiento de recursos marinos, Oceanografía, Sociedad, economía y política.

Por ser el primer programa de este nivel, el Doctorado Interinstitucional en Ciencias del Mar se considera como un avance académico significativo para la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. A nivel institucional, este mérito corresponde al decidido compromiso del Rector, José Fernando Isaza; y del director del Departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales, Iván Rey Carrasco, quienes con la colaboración de otras personas de la Universidad, lograron materializar la idea. Tanto los profesores como los estudiantes del Programa de Biología Marina merecen un agradecimiento especial, por crear, en el transcurso de varias décadas, toda una tradición en ciencias del mar en la Tadeo.

También es pertinente agradecer a las universidades e instituciones que se integraron para consolidar un proyecto de envergadura nacional con amplia visión de futuro. El Doctorado Interinstitucional en Ciencias del Mar es una oportunidad para estudiar los sistemas marinos, para proteger la biodiversidad y para hacer uso sostenible de ella.

---

**DIÓGENES CAMPOS ROMERO** es Físico, con maestría en Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia. En 1976 la Universidad de Kaiserslautern en Alemania, le otorgó el título de Dr. rer. nat. con calificación de excelencia para su tesis doctoral en física teórica. Actualmente, se desempeña como vicerrector académico de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y es integrante del Consejo Nacional de Ciencias Básicas de Colciencias y miembro de Número de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

---

<sup>15</sup> <http://www.semana.com/noticias-vida-moderna/lanzan-doctorado-ciencias-del-mar/145654.aspx>